

PIWO 2011



Osnova

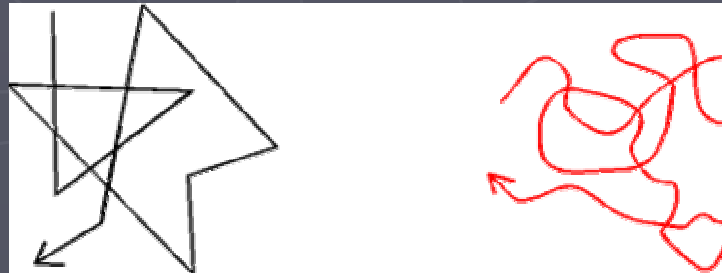
- Co je to plasma, kriteria, rozdělení plazmatu
- Netermální výboje
- Intenzifikace netermálních výbojů
- Dielektrický bariérový výboj

Plazma

„Plazma je kvazineutrální soubor částic s volnými nosiči nábojů, který vykazuje kolektivní chování“.

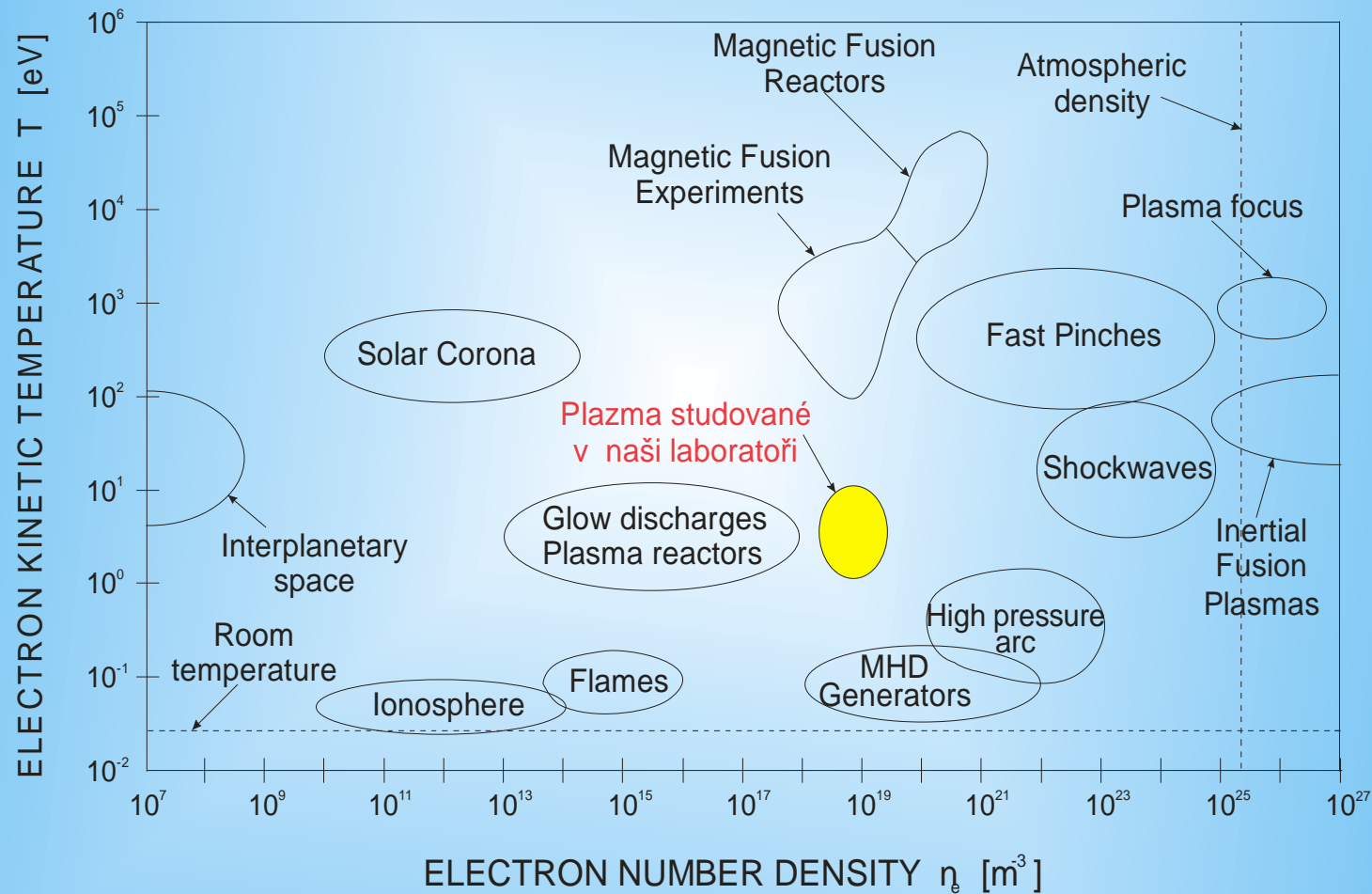
- Volné nosiče náboje
- Kvazineutralita
- Kolektivní chování

- Stupeň ionizace plazmatu (poměr počtu ionizovaných částic vůči celkovému počtu částic)
- Srážky částic v neutrálním plynu a v plazmatu



Plazma

Plazma v laboratoři i ve vesmíru

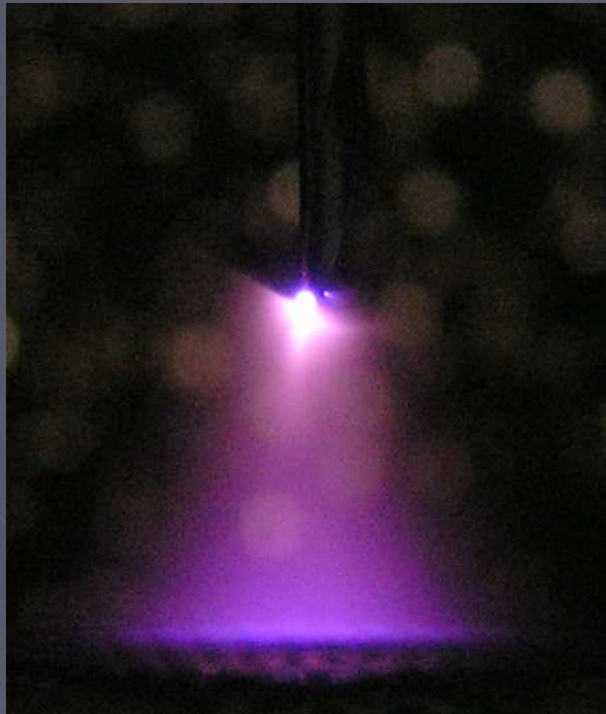


Koronový výboj

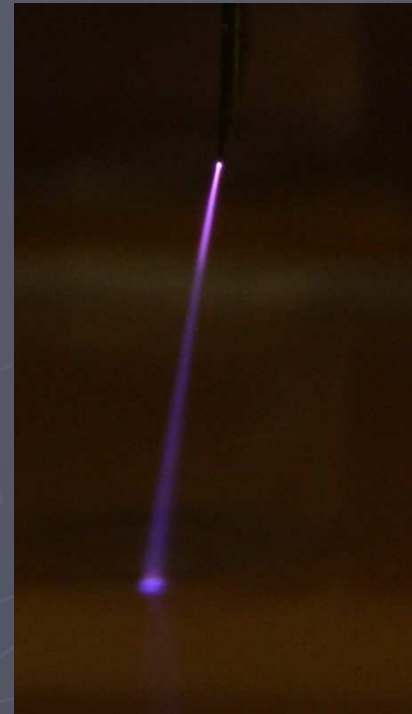
- Jedna elektroda s malým poloměrem zakřivení.
(hrot – rovina, drát – rovina, koaxiální uspořádání, hrot – hrot)
- Unipolární, bipolární
- Elektrický výboj produkující netermální plazma $T_e \gg T_i, T_n$
- Částečně ionizované plazma (stupeň ionizace $\sim 10^{-7}$)
- Orientační $T_e \sim 1 - 10$ eV
- Orientační $n_e \sim 10^{18} - 10^{19} \text{ m}^{-3}$
- Konfigurace elektrod – jehla – rovinná elektroda,
- Napájení DC
- Výkon – jednotky wattů
- Proud – stovky mikroampér

Korónový výboj

Záporná koróna

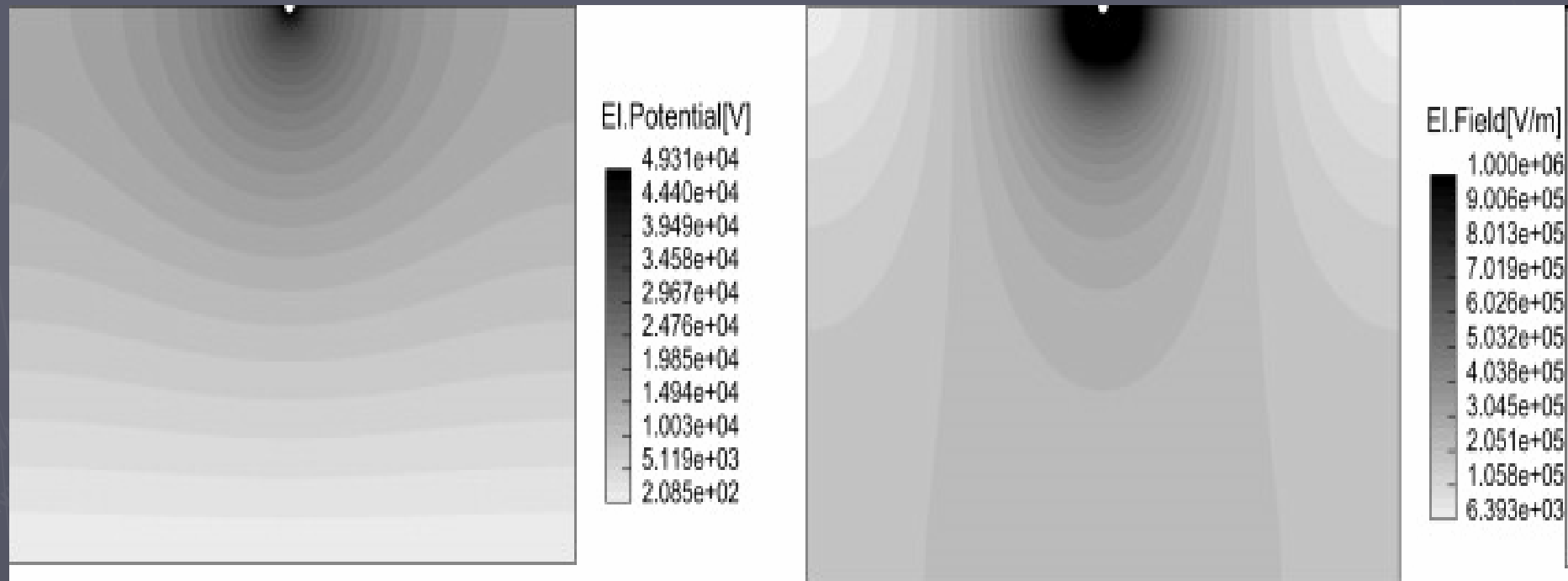


Kladná koróna



- Energie a množství volných elektronů
- Vznik sekundárních elektronů
- Průřez výboje
- Prostorový náboj
- Aktivní a driftová oblast, odpor výboje

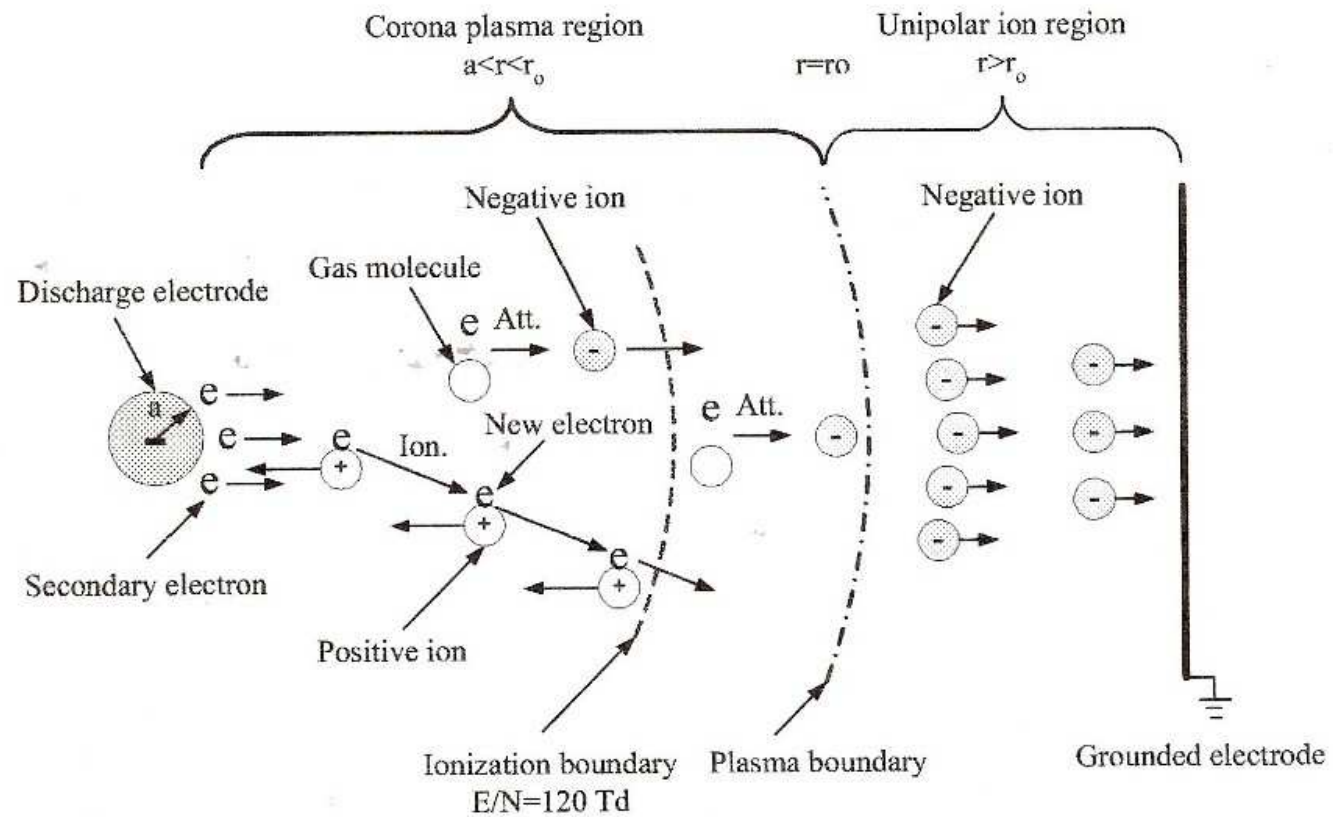
Rozložení ekvipotenciálních čar a intenzity elektrického pole v uspořádání elektrod hrot - rovina



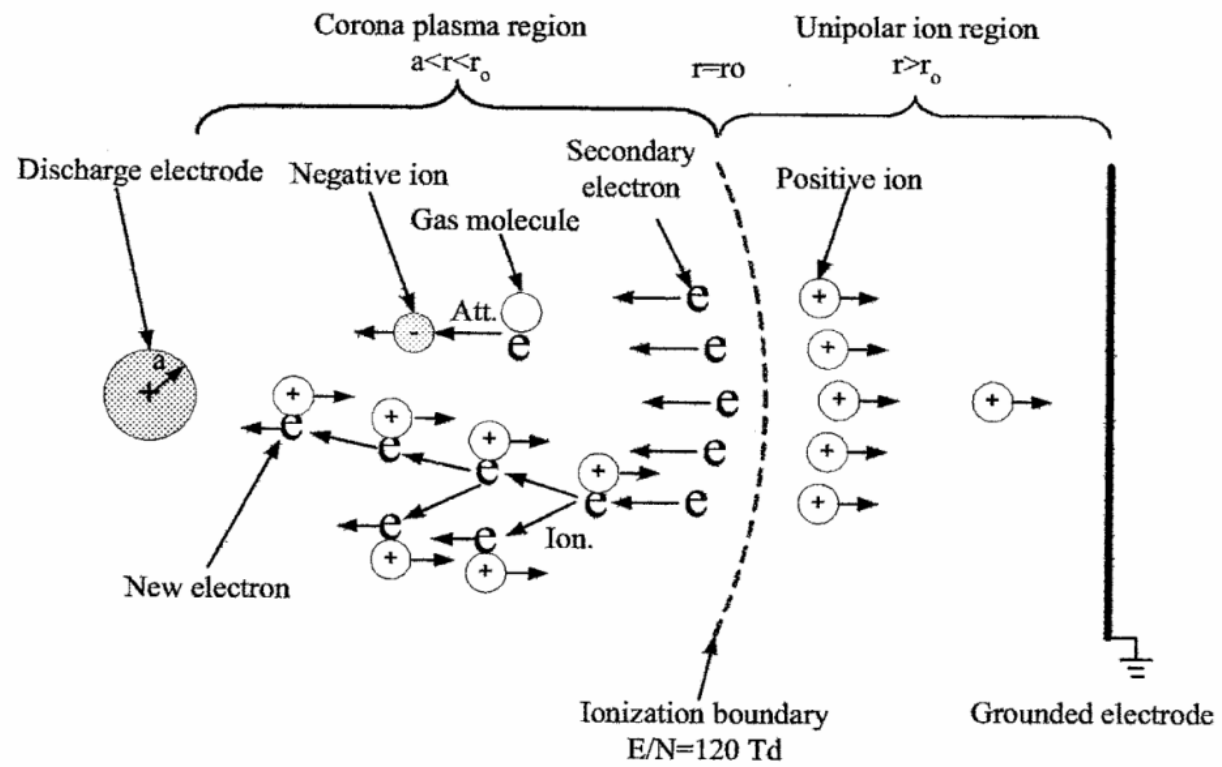
N. Neimarlija, I. Demirdžić and S. Muzaferija: Journal of Electrostatics, 67, Issue 1, (2009) 37-47

$$\vec{E} = - \text{grad } \varphi$$

Korónový výboj - mechanismus

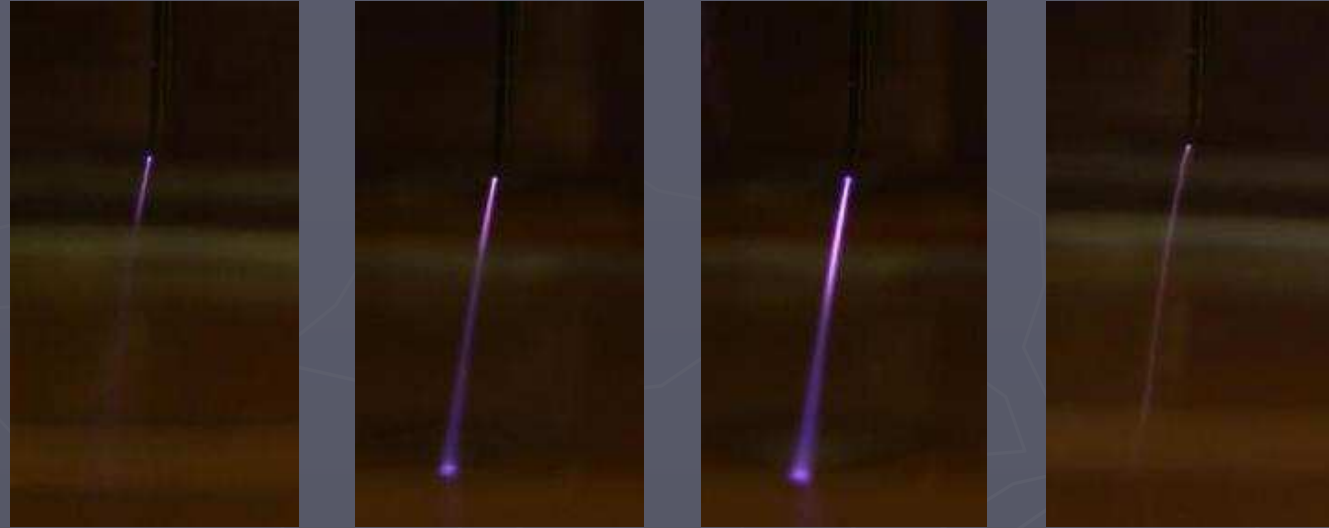


Korónový výboj - mechanismus



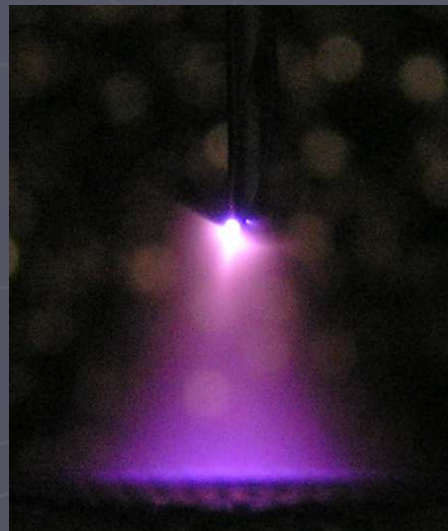
Vývoj výboje - přechod do jiskry

Kladná koróna

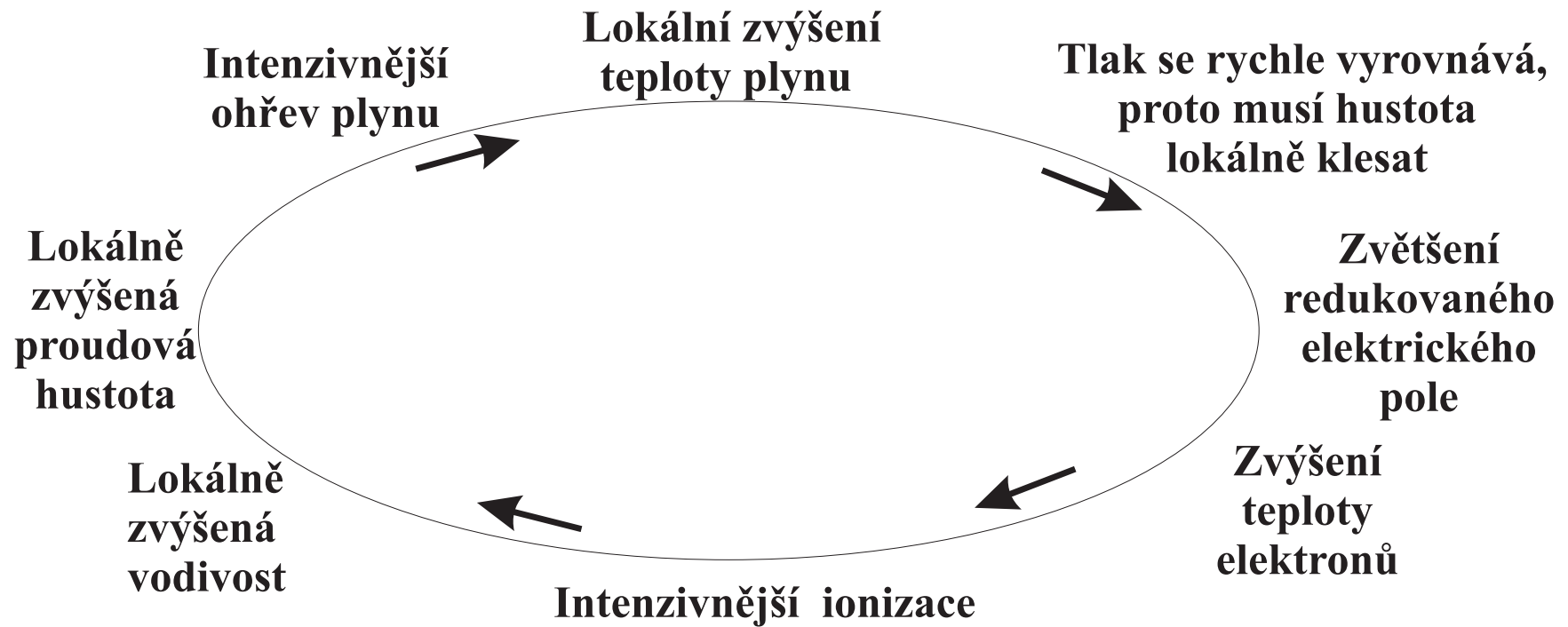


Záporná koróna

- teplotní nestabilita

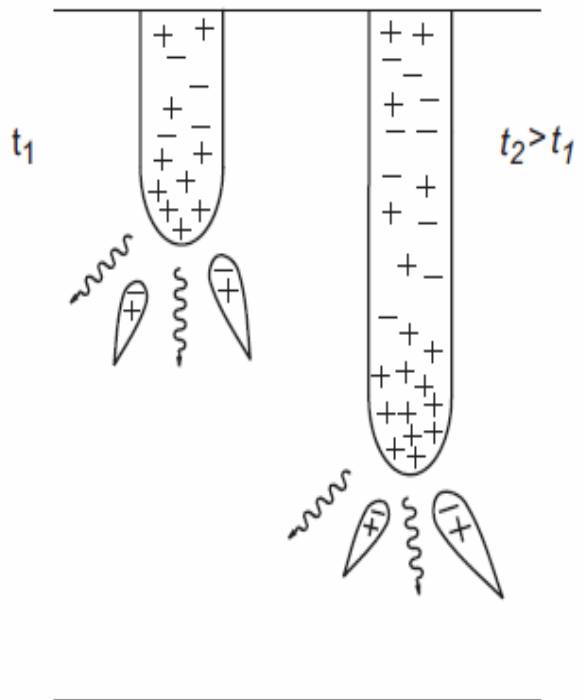


Vznik teplotní nestability



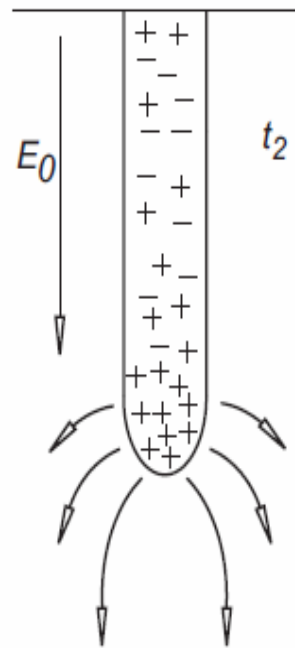
Streamer – kladná korona

I) ⊕ Anoda



⊖ Katoda

II) ⊕ Anoda



⊖ Katoda



Intenzifikace korónového výboje - způsoby

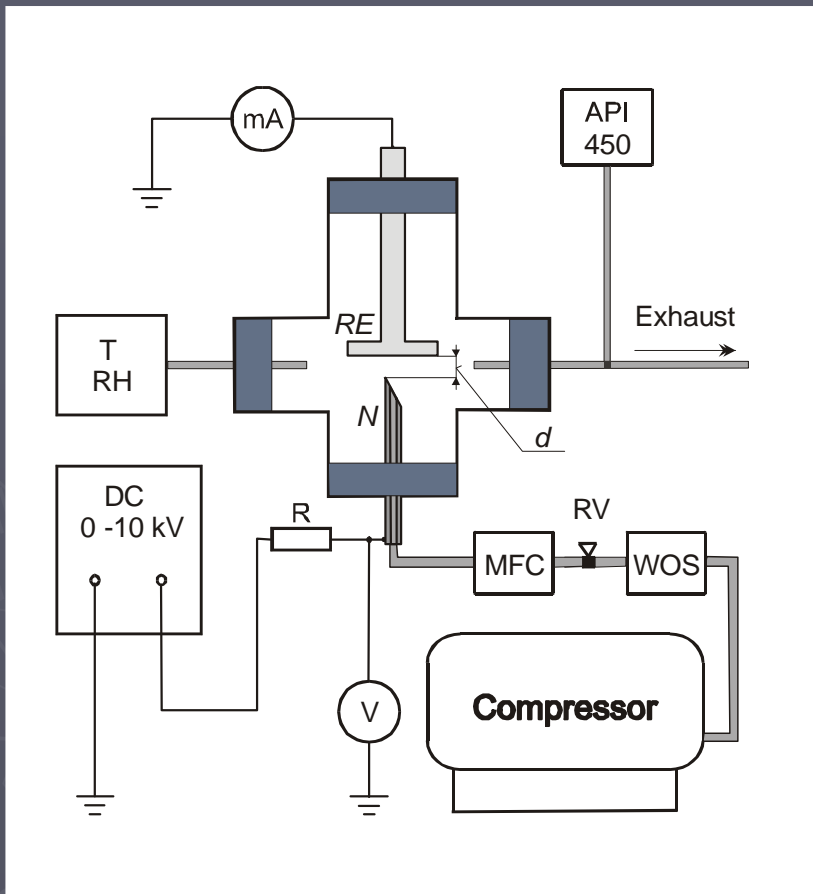
Parametry výboje:

- Hustota (koncentrace) neutrálních částic N .
- Teplota plynu T_g , teploty elektrod.
- Redukované elektrické pole E/N .
- Stupeň ionizace – tedy vodivost a proudová hustota.
- $U \Rightarrow E/n \Rightarrow$ energie elektronů.
- Příkon \Rightarrow počet ionizací za jednotku času.

Možnosti ovlivnění lokálních parametrů:

- Použití proudícího plynu
- Pulzní napájení výboje
- Použití ultrazvuku
- Předřadná impedance

Stabilizace proudícím vzduchem



Průtok plynu

- doba pobytu (residence time),
- chlazení elektrod,
- chlazení objemu výboje \Rightarrow teplota plynu.

Vytváření NOx \Rightarrow otrávení výboje.

Hlavní reakce generace a rozkladu ozonu

- $k = f(E/n, T_g, \text{další parametry})$.

Disociace molekul O_2 a N_2

- $e^- + O_2 \rightarrow O + O + e^-$
- $e^- + N_2 \rightarrow N + N + e^-$

Rychlostní koeficienty reakcí

$$k = f(E/n)$$

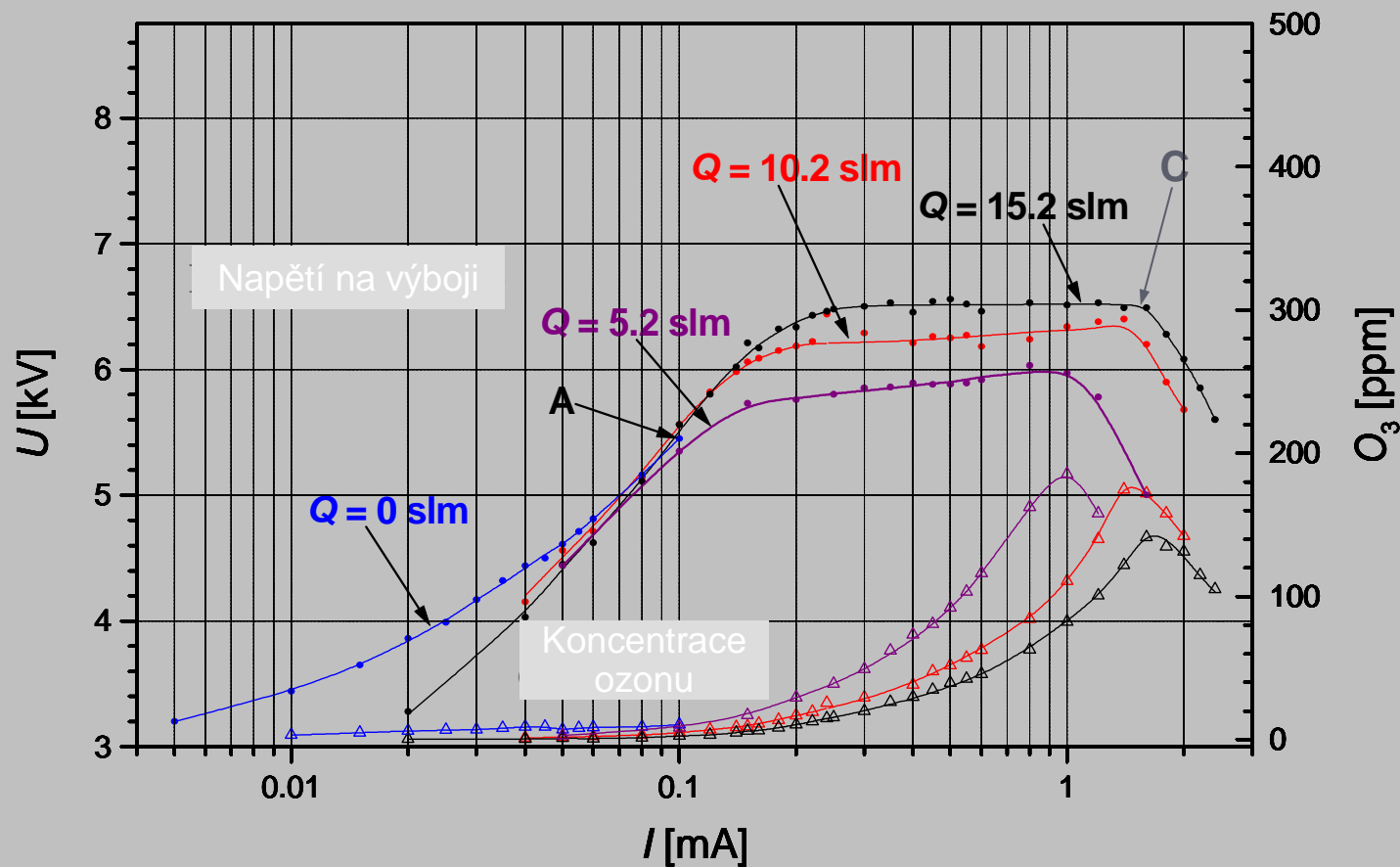
Nejdůležitější reakce vzniku
a zániku ozonu

- $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$
- $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$
- $NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$

$$k = 2,5 \cdot 10^{-35} \exp\left(\frac{970}{T_g}\right) [\text{cm}^6 \text{s}^{-1}]$$

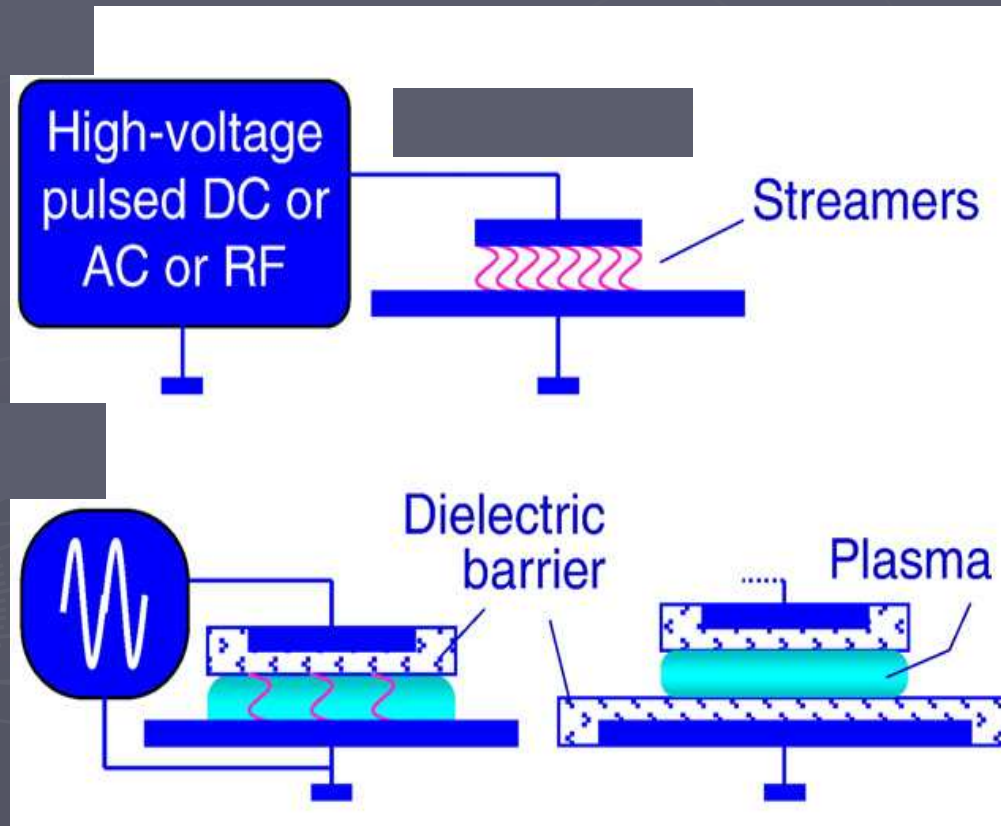
$$k = 1,5 \cdot 10^{-12} \exp\left(\frac{-1300}{T_g}\right) [\text{cm}^3 \text{s}^{-1}]$$

Stabilizace proudícím vzduchem – souvislost s generací ozonu

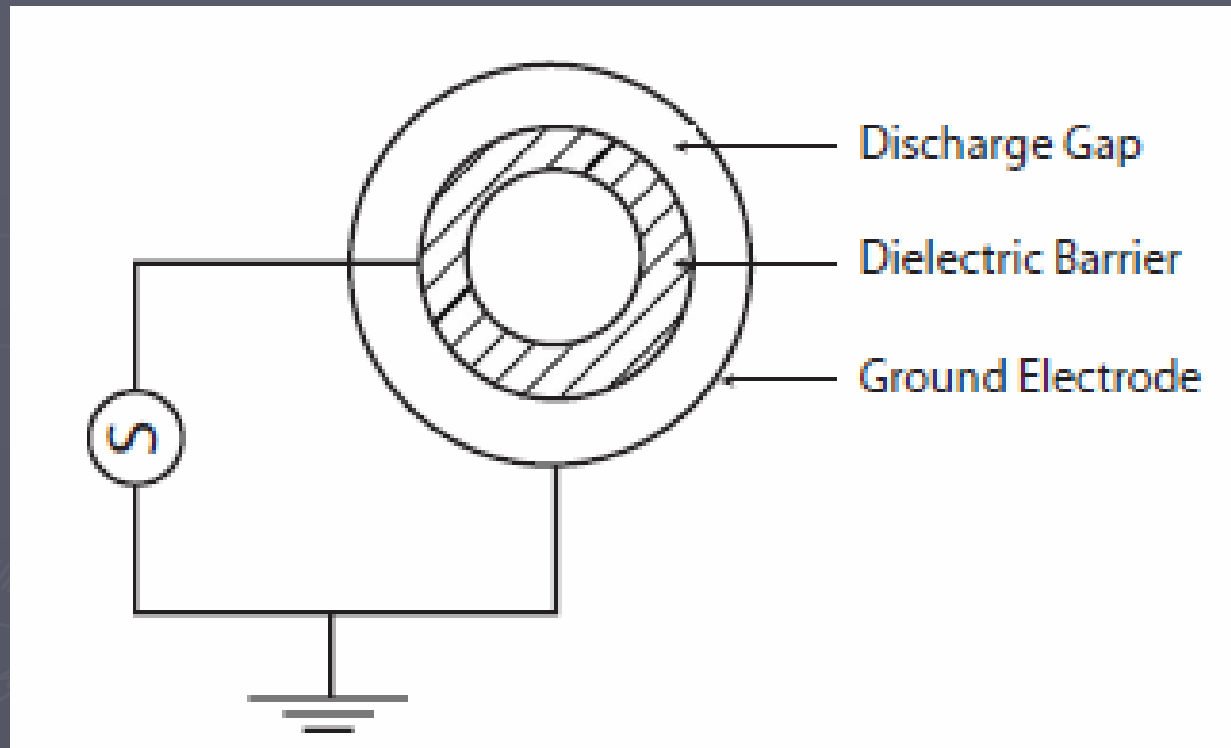


Delektrický bariérový výboj

- $f = (0.05-500) \text{ kHz}$



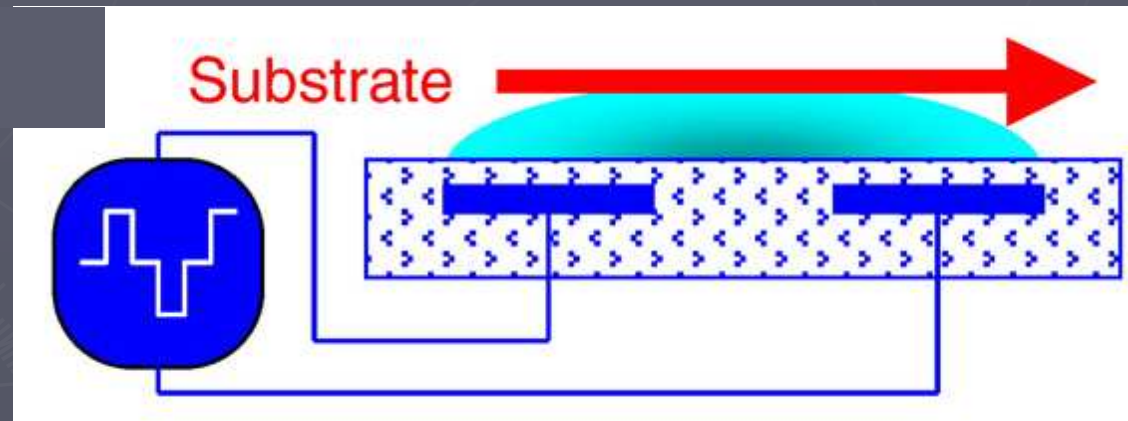
Dielektrický bariérový výboj



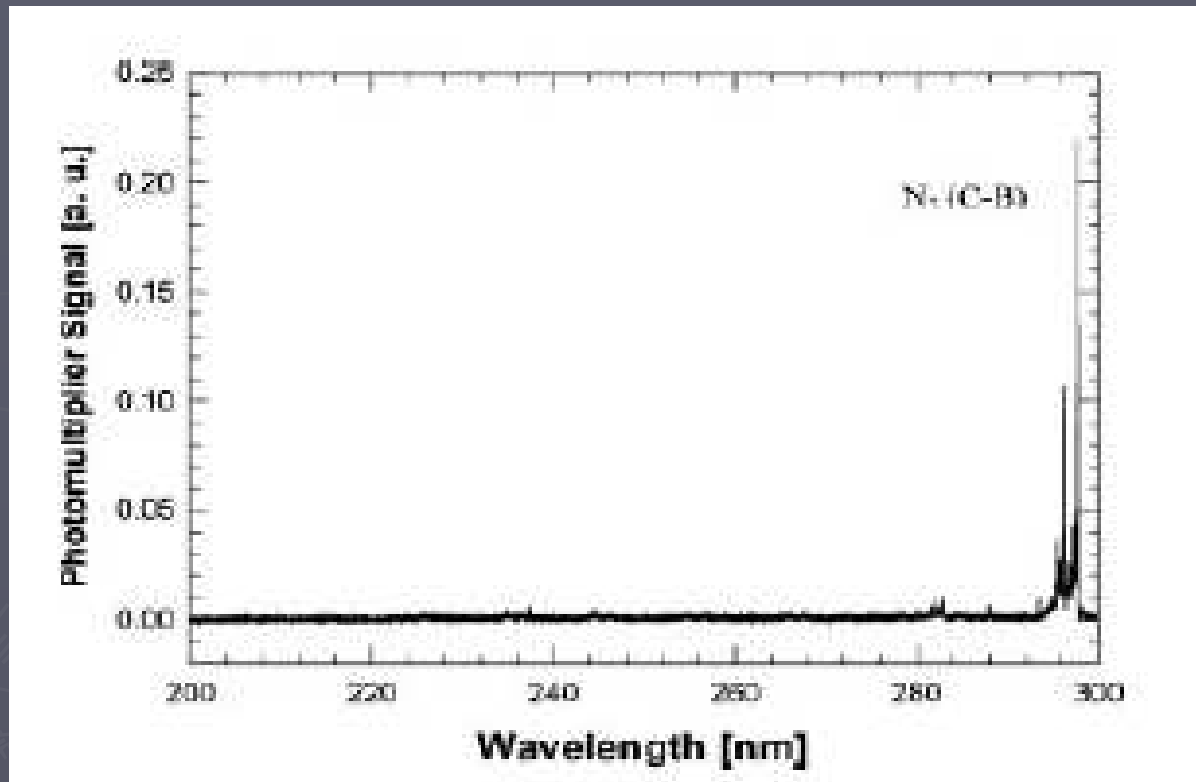
- Dielektrický materiál - glass, ceramics, nebo jiné materiály
Vykazující nízké dielektrické ztráty a vysokou dielektrickou pevnost.

Delektrický bariérový výboj

- úprava substrátu



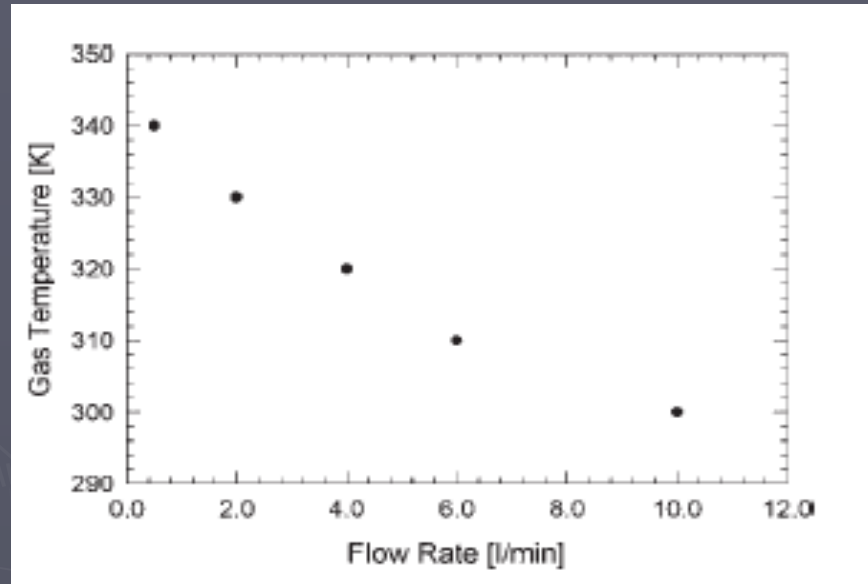
Faktory způsobující deaktivaci mikroorganismů – UV záření



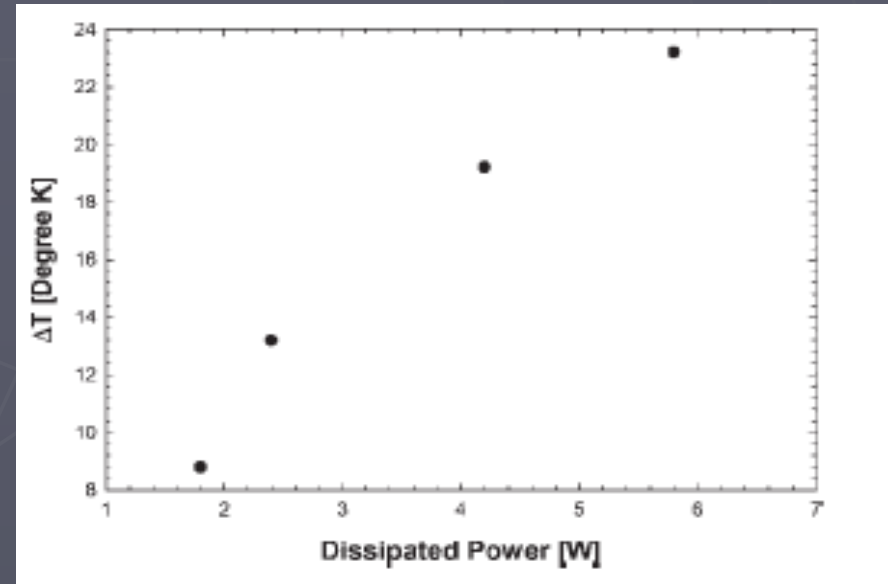
UV spektrum dielektrického bariérového výboje ve vzduchu

M. Laroussi, F. Leipold, Int. J. Mass Spectrom. 2004, 233, 81.

Faktory způsobující deaktivaci mikroorganismů - ohřev



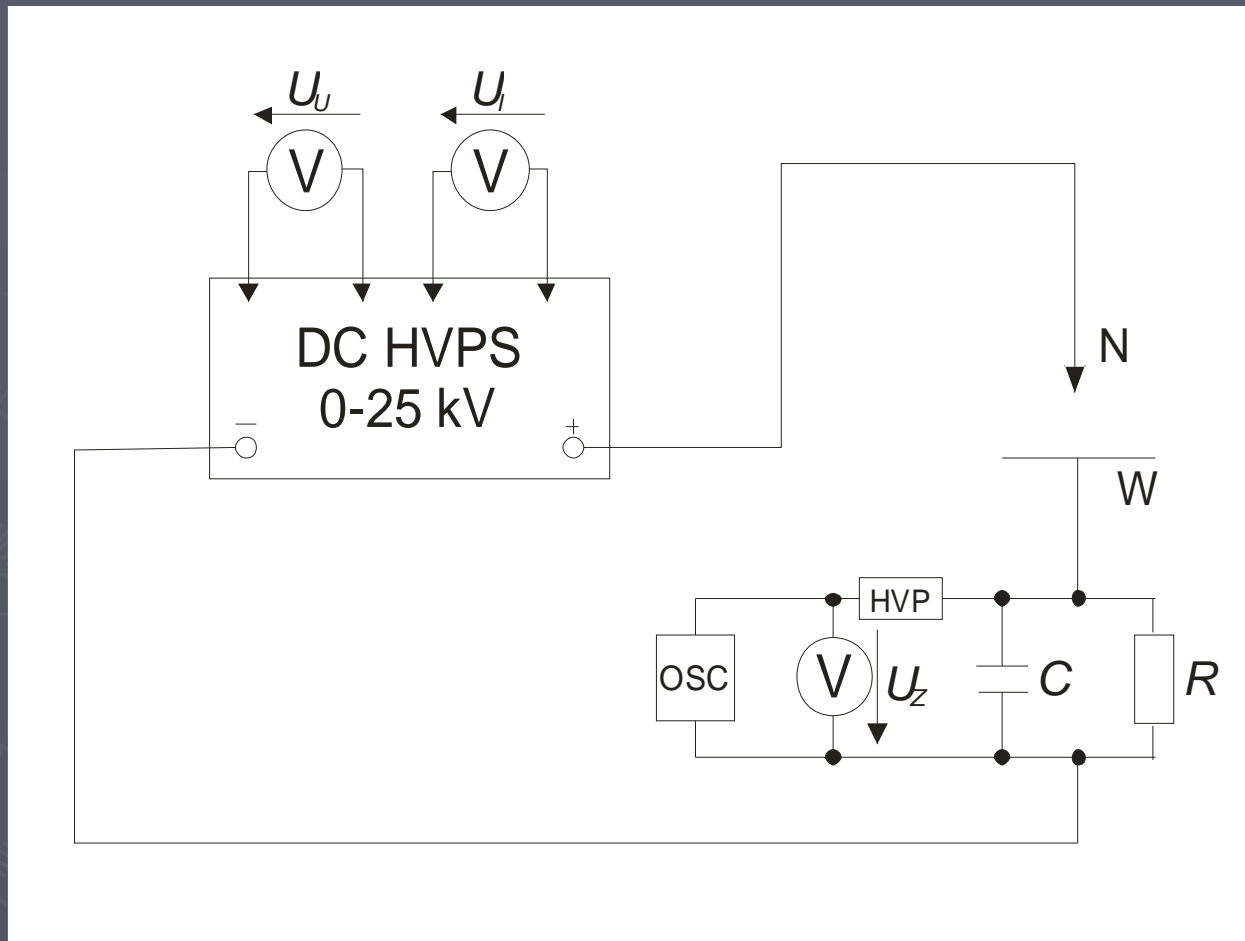
Teplota plynu versus průtok reaktorem, $P = 10$ W



Zvětšení teploty vzorku versus výkon výboje

M. Laroussi, F. Leipold, Int. J. Mass Spectrom. 2004, 233, 81.

Impedančně stabilizovaný výboj



Floating-electrode DBD

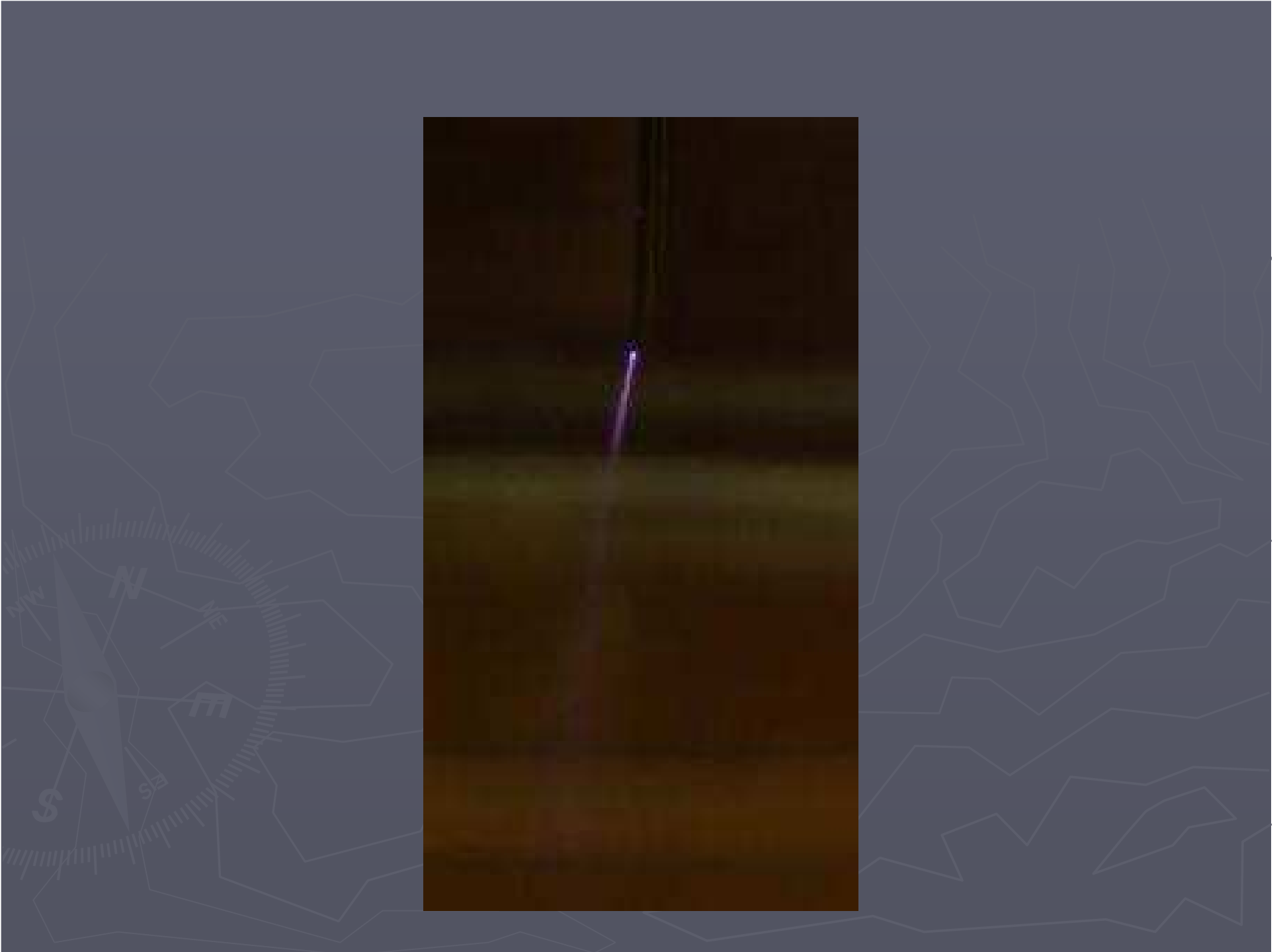
-P ~ 3–5W

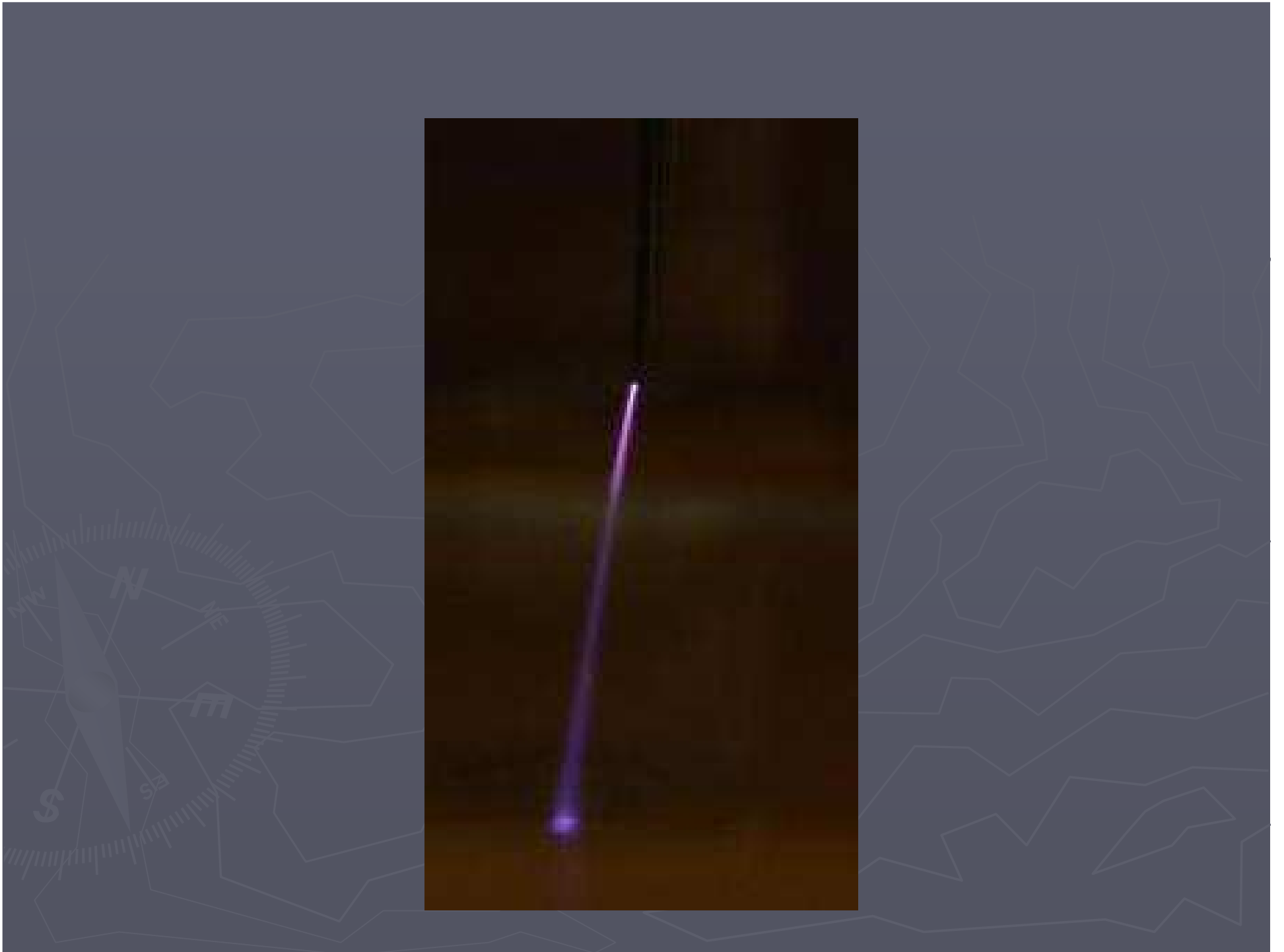
- výkonová hustota 0,5–1 W/cm²



Impedančně stabilizovaný výboj

- vznik streamerového opakovacího režimu
- záporná korona – zanedbatelný vliv
- rozšíření I režimu ($28 \mu\text{A} - 320 \mu\text{A}$), výkon ($0,17 \text{ W} - 1,5 \text{ W}$)
- přechodová oblast ve V-A charakteristice
- změna frekvence streamerů a superponované střídavé složky s kapacitou kond.

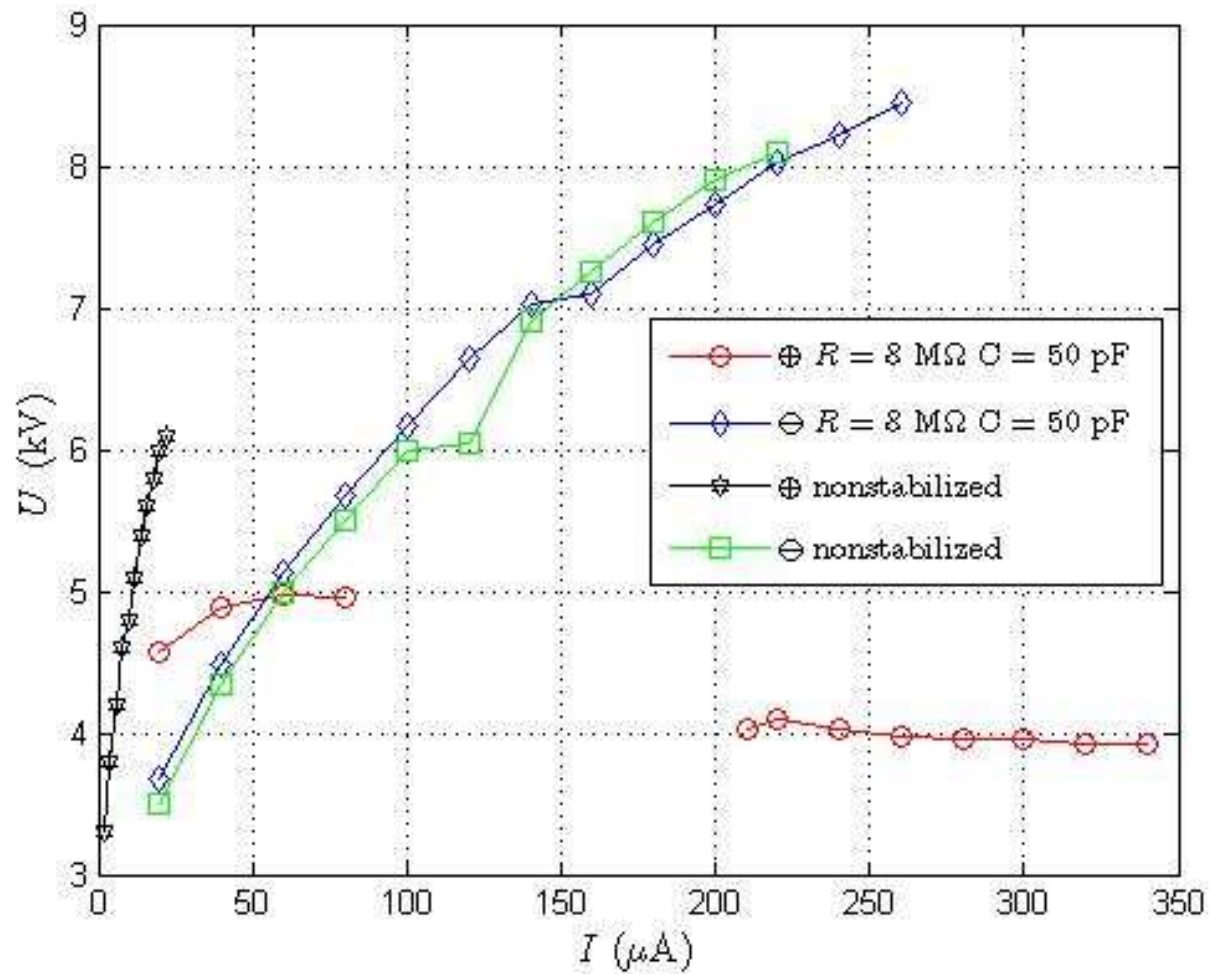






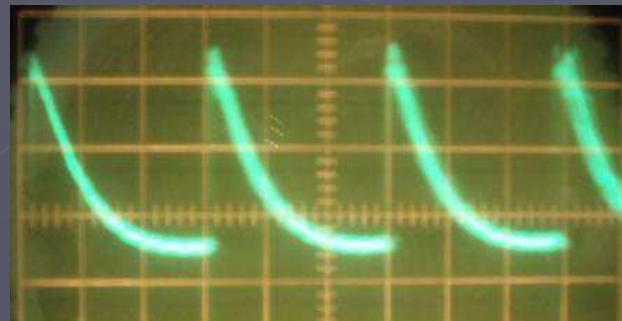
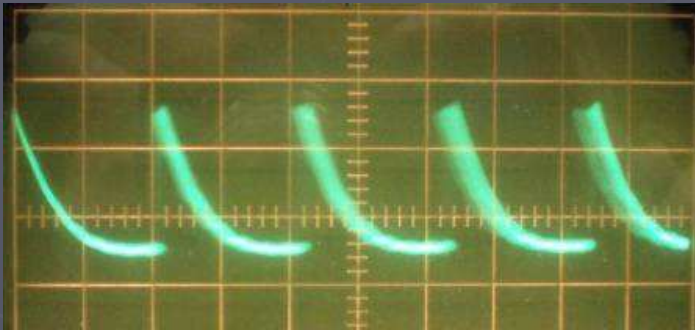


Impedančně stabilizovaný výboj



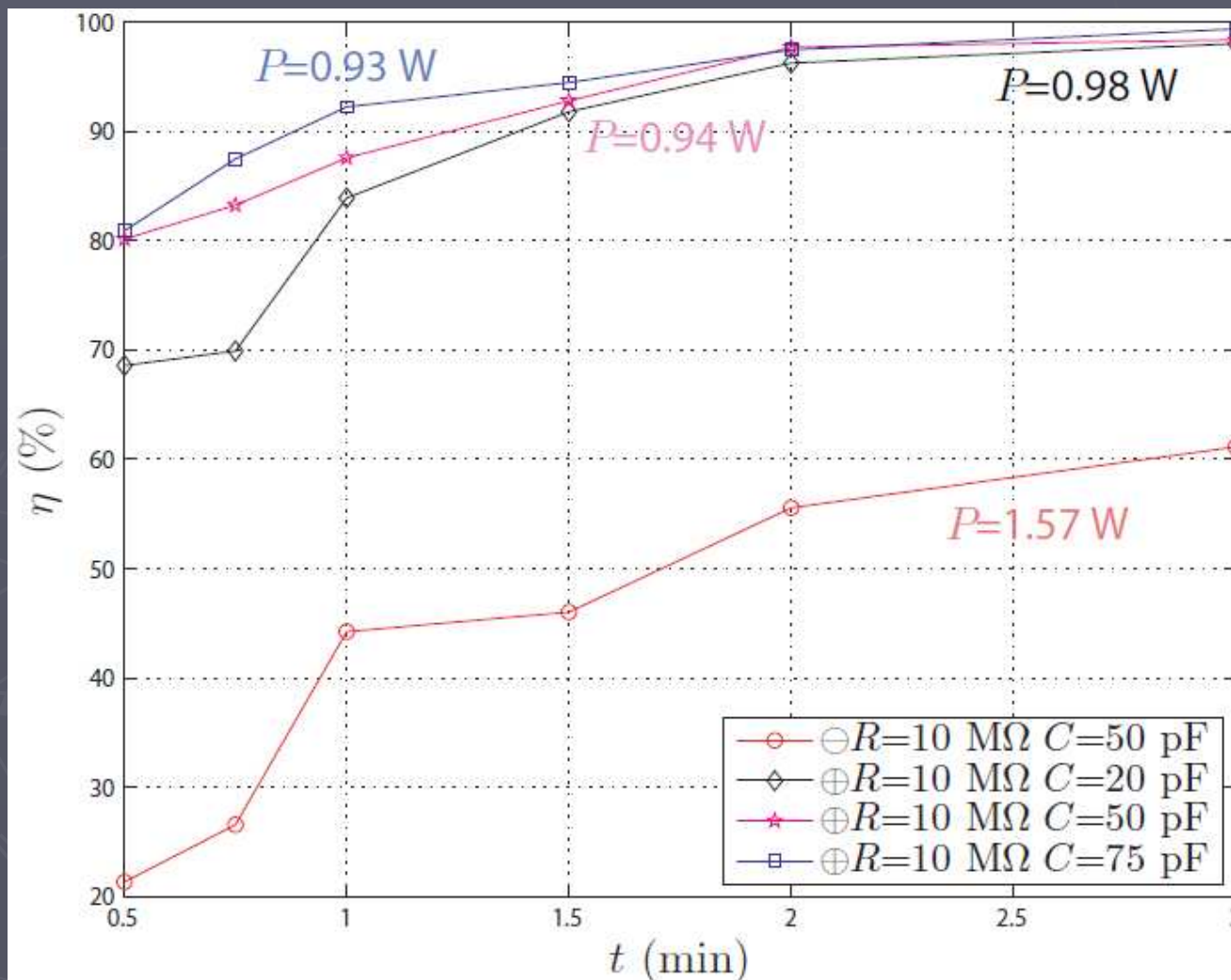
Impedančně stabilizovaný výboj

Typical waveforms of the impedance voltage. $I = 250 \mu\text{A}$,
 $R = 10 \text{ M}\Omega$, $C = 50 \text{ pF}$, $C = 75 \text{ pF}$



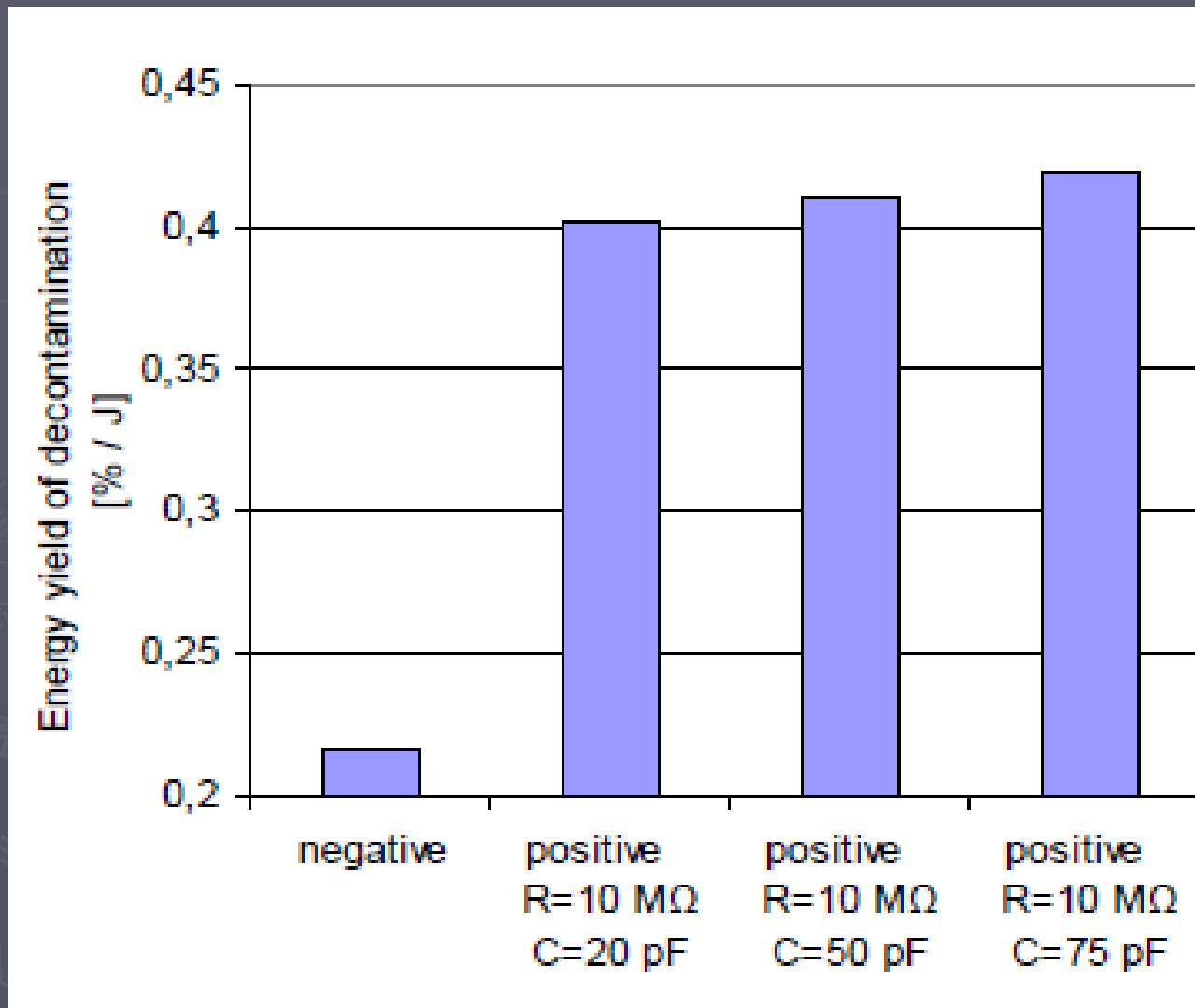
Impedančně stabilizovaný výboj

Decontamination efficiencies for stabilized positive and negative corona. $I = 200 \mu\text{A}$.



Impedančně stabilizovaný výboj

Energy yield of decontamination for $t = 3$ min.



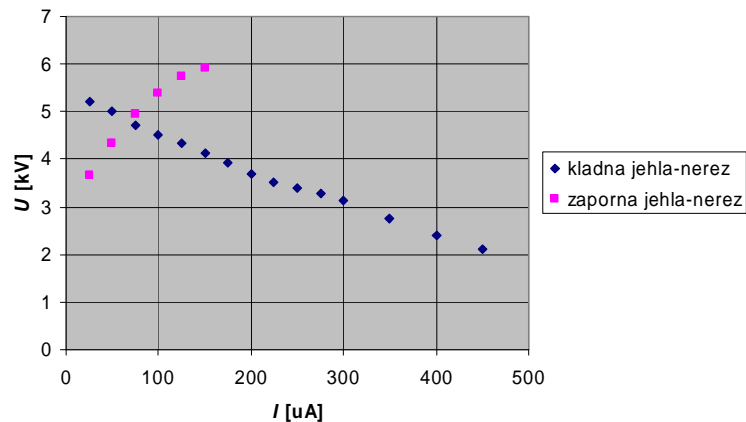
Impedančně stabilizovaný výboj

	I (μA)	U (kV)	P (W)
kladná korona	28	6,08	0,17
záporná korona	226	7,5	1,70

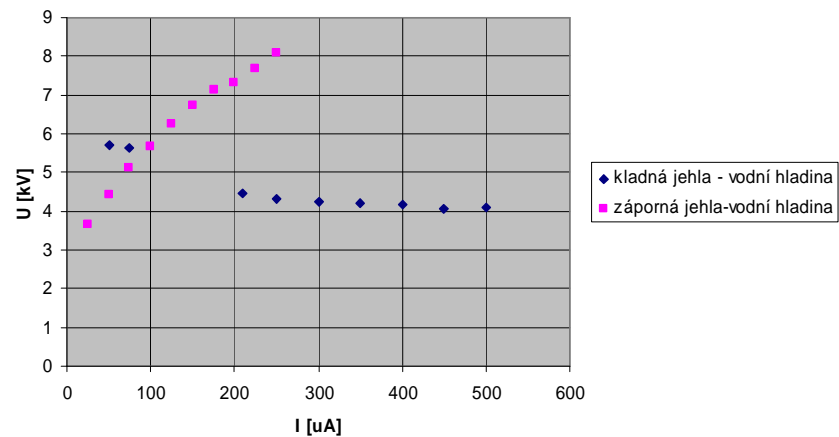
		pozitivní korona				negativní korona			
R (M Ω)	C (pF)	I_{max} (μA)	U_{max} (kV)	streamerový režim	přech. oblast	I_{max} (μA)	U_{max} (kV)	streamerový režim	přech. oblast
1,57	76	28,4	6,07	ne	ne	234	8	ne	ne
6,12	27	286	4,53	ano, nestabilní	ano	251	7,85	ne	ne
6,12	43	320	4,6	ano, stabilní	ano	260	7,89	ne	ne

Impedančně stabilizovaný výboj

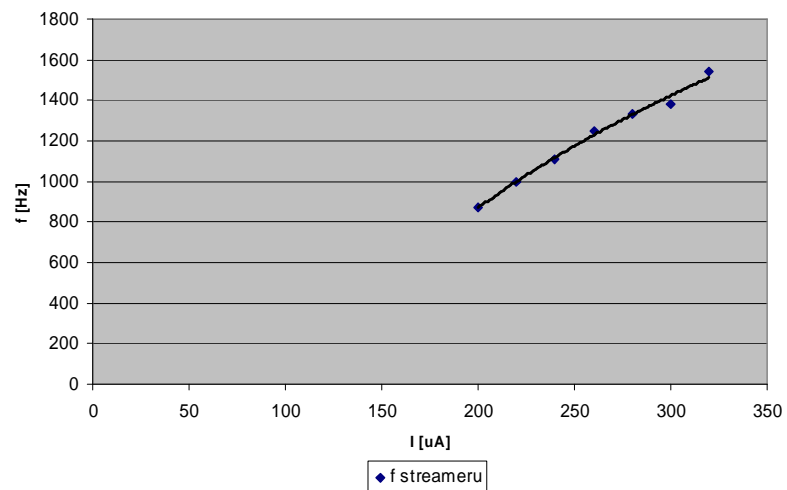
Jehla proti nerezové elektrodě



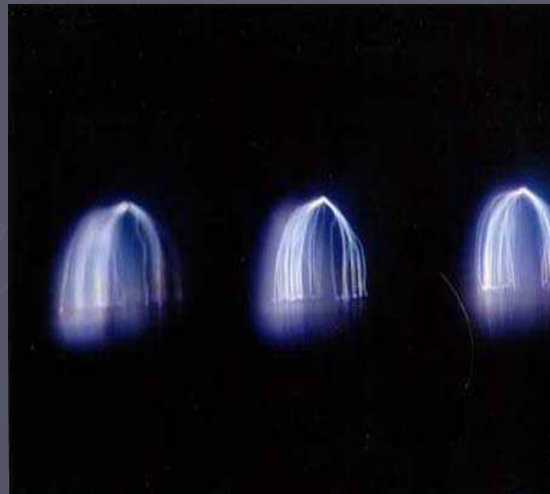
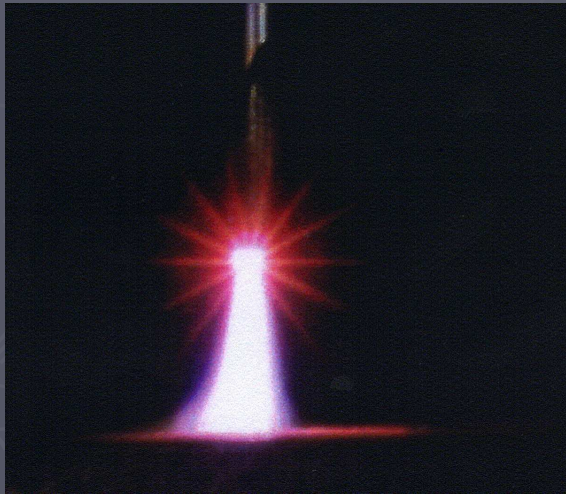
Jehla proti vodní hladině

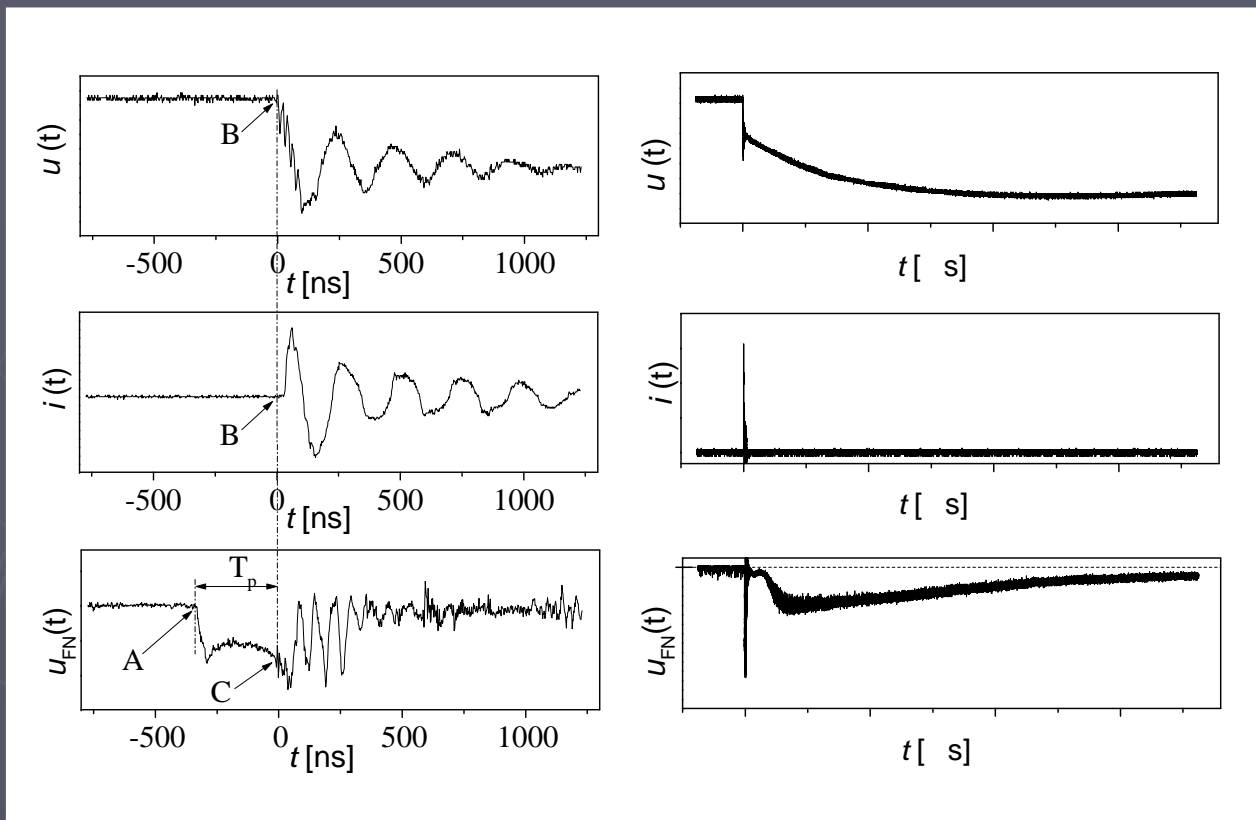


Závislost frekvence streamerů na střední hodnotě proudu



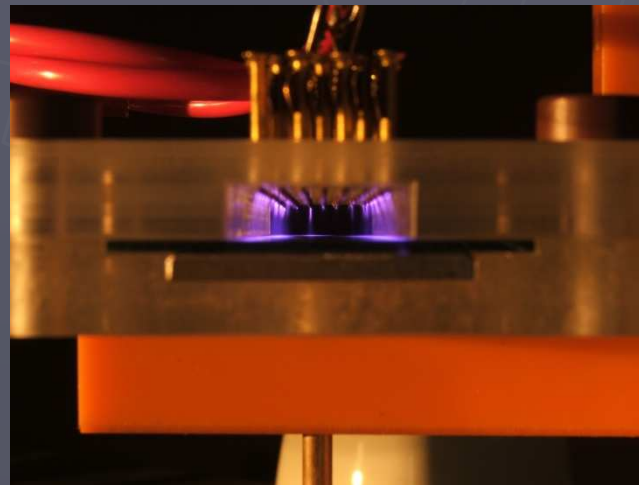
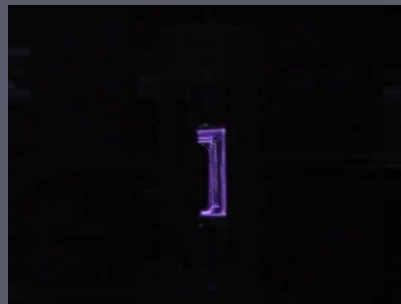
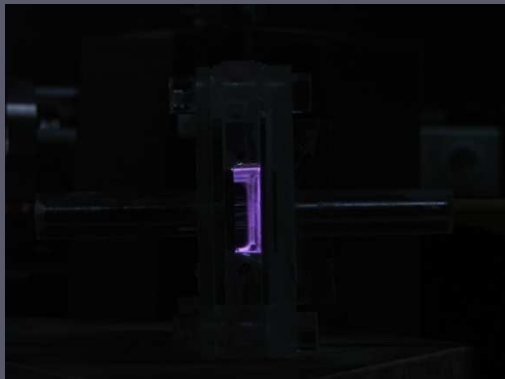
Paralelní zapojení
 $R = 9 \text{ M}\Omega$
 $C = 40 \text{ pF}$



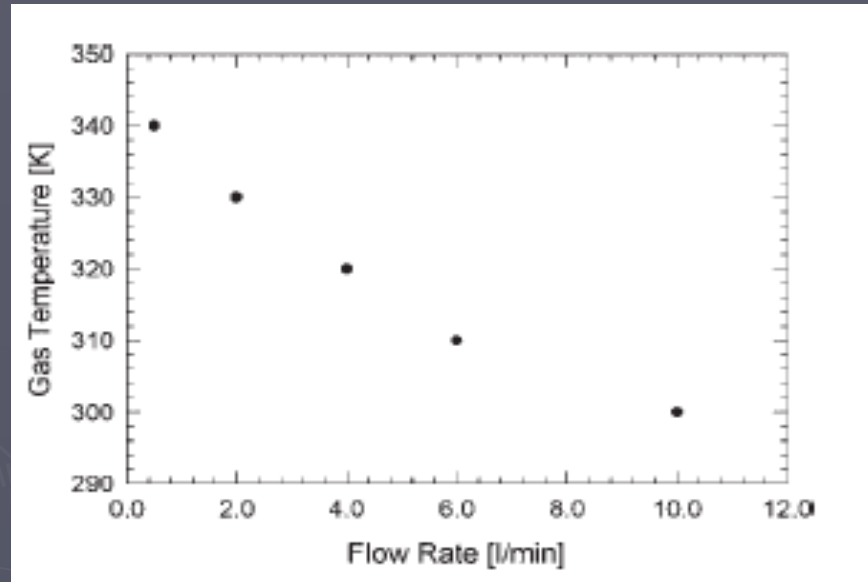


(a) (b)

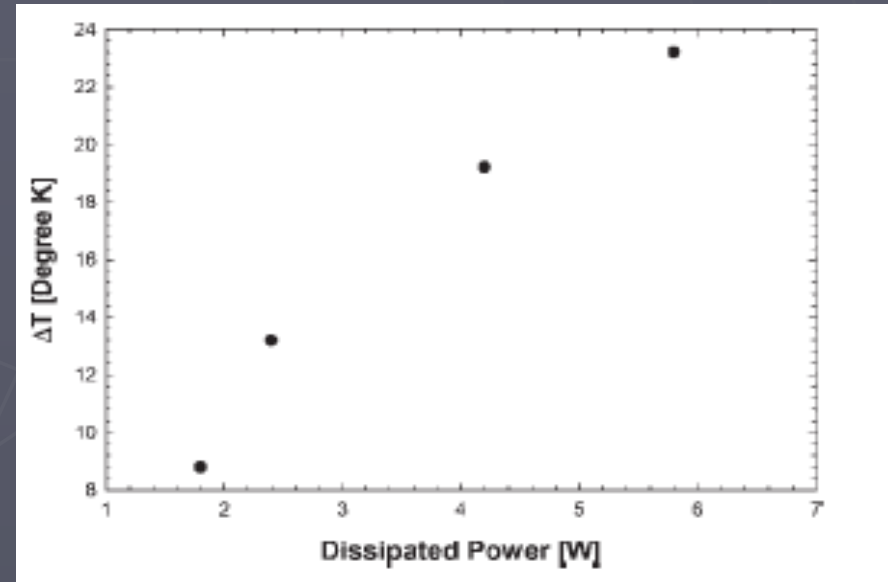
Obr. 5.2.2.1-1 Časový průběh napětí na výboji $u(t)$, proudu výbojem $i(t)$ a napětí fotonásobiče $u_{FN}(t)$ v průběhu jednoho streameru. (a) Časový interval od -750 ns do 1250 ns. (b) Časový interval od -25 do 180 μ s. $Q = 5$ slm, $d = 4$ mm, $U_{\text{výboje}} = 4,9$ kV.



Faktory způsobující deaktivaci mikroorganismů - ohřev



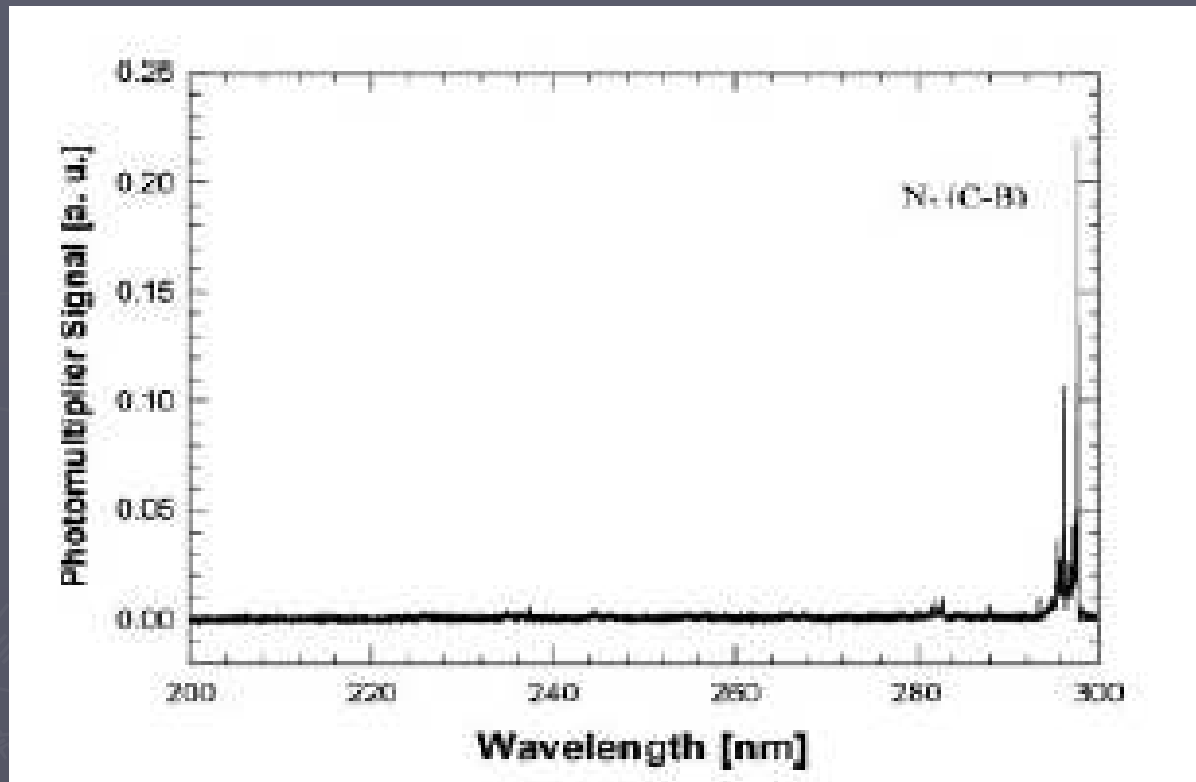
Teplota plynu versus průtok reaktorem, $P = 10$ W



Zvětšení teploty vzorku versus výkon výboje

M. Laroussi, F. Leipold, Int. J. Mass Spectrom. 2004, 233, 81.

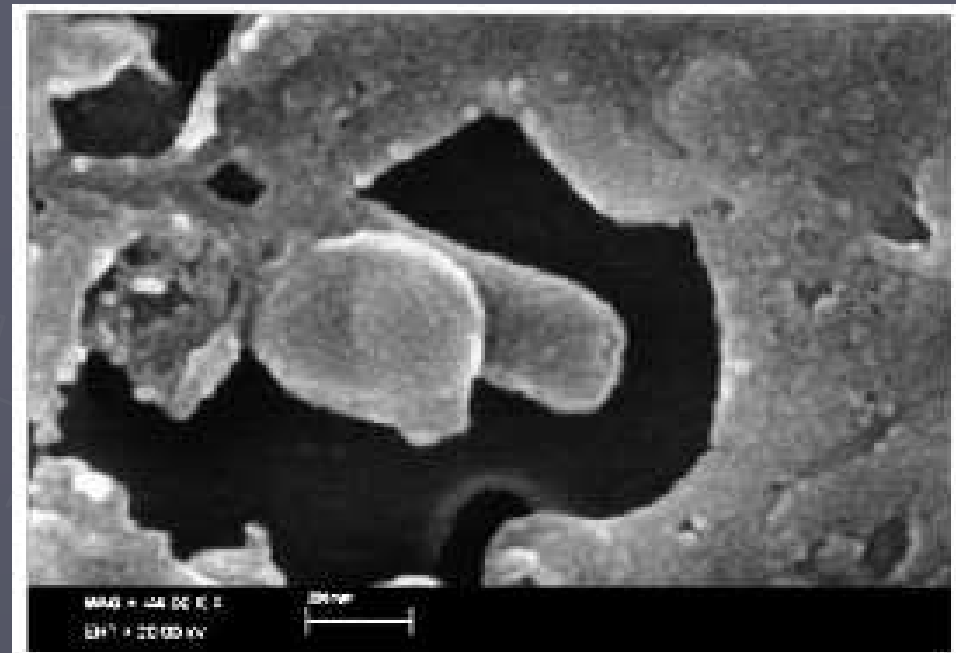
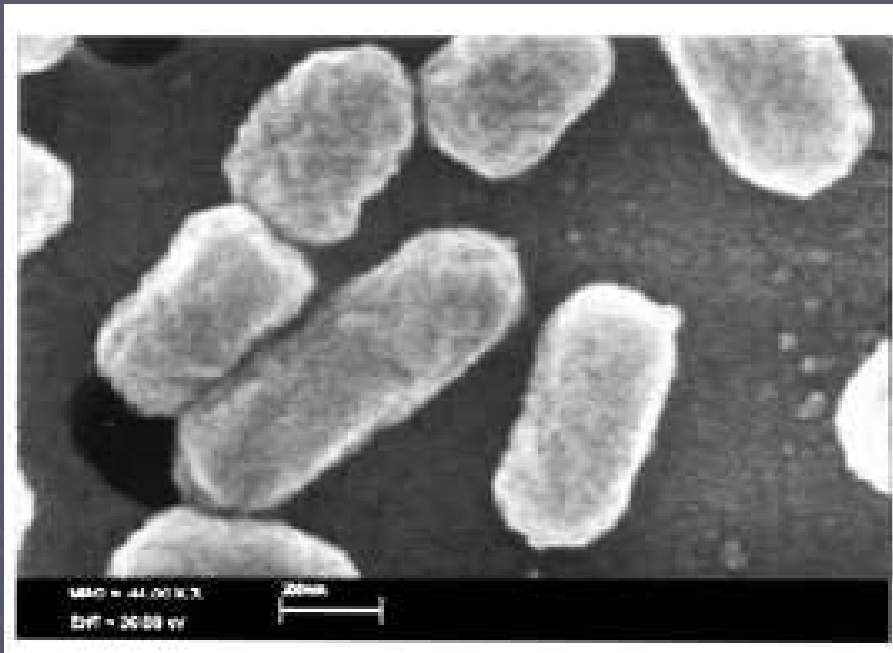
Faktory způsobující deaktivaci mikroorganismů – UV záření



UV spektrum dielektrického bariérového výboje ve vzduchu

M. Laroussi, F. Leipold, Int. J. Mass Spectrom. 2004, 233, 81.

Faktory způsobující deaktivaci mikroorganismů – nabitě částice



E. coli před expozicí a po expozici netermálním plazmatem

M. Laroussi, J. P. Richardson, F. C. Dobbs, Appl. Phys. Lett. 2002, 81, 772.